

Il “Rinascimento Nucleare” sarà trainato dalla globalizzazione economica?

Sandro Paci

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione (DIMNP)

Via Diotisalvi, 2 – 56126 Pisa (I)

Tel: 050 836659, Fax: 050 836665

e-mail: sandro.paci@ing.unipi.it

1. Introduzione

Nel corso dell'ultimo decennio il fenomeno della globalizzazione dei mercati è stato sempre più discusso, analizzato e documentato. Brevemente, questo aspetto della globalizzazione può essere definito come l'integrazione dei mercati e del comportamento competitivo delle diverse industrie su scala mondiale. In realtà, dietro questa semplice definizione il fenomeno può essere visto come il complesso insieme dei cambiamenti di mentalità e di comportamento all'interno delle singole industrie che tendono a facilitare una loro concorrenza globale. Questi cambiamenti ruotano intorno a due temi centrali: l'efficiente flusso delle informazioni ed il rapido adattamento della tecnologia ai cambiamenti richiesti dal mercato.

Mentre questa globalizzazione del mercato è già pienamente realizzata nei settori dell'industria elettronica e delle comunicazioni, la tendenza verso una completa globalizzazione caratterizza ormai anche le industrie del settore tecnologico. In particolare questa tendenza è stata ed è di vitale importanza nella tecnologia nucleare e si è già manifestata in una serie di acquisizioni che hanno praticamente realizzato il processo di globalizzazione per l'industria nucleare:

- ✓ la nascita nel 2001 del gigante francese pubblico AREVA, con la fusione in esso delle tre più importanti realtà industriali della nazione guida in Europa per l'utilizzo dell'energia nucleare: Framatome, COGEMA e del settore industriale del CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique);
- ✓ la nascita nello stesso anno di Framatome ANP (Advanced Nuclear Power), trasformatasi dal 1 marzo 2006 in AREVA NP, controllata al 66% da Framatome e ed al 34% dalla Siemens (D), e

destinata alla commercializzazione del nuovo reattore franco/tedesco EPR (European Pressurized Reactor);

- ✓ l'acquisizione nel 1999 della divisione nucleare della storica Westinghouse Electric Corporation (con l'eccezione strategica dei reattori navali) da parte della British Nuclear Fuels Limited (BNFL), seguita nel 2000 dalla acquisizione, da parte della stessa BNFL, anche della svizzera ABB Nucleare con la nascita della Westinghouse Electric Company ed infine dalla cessione dell'intero business nucleare il 6 febbraio 2006 alla Toshiba.

In questi ultimi anni, parallelamente a questo forte processo di ristrutturazione e di globalizzazione dell'industria, si è assistito anche ad una ripresa dell'interesse verso l'energia nucleare. Fattori economici, ambientali e politici si stanno, infatti, riallineando, trainando questa rinascita nell'interesse verso l'uso dell'energia nucleare per la produzione di energia elettrica. Sulla base dei fattori economici che guidano i mercati dell'energia elettrica (e del fatto che l'attuale parco di centrali nucleari si stia avvicinando alla conclusione del suo ciclo di vita), esiste una forte spinta per nuovi ordini, concretizzatasi nell'Unione Europea già all'inizio nel 2005 con il via ai lavori per la realizzazione dell'EPR in Finlandia (come visto precedentemente un reattore di concezione franco tedesca). Sono comunque ancora presenti barriere significative, sia tecnologiche che politiche e sociali, a questo "*rinascimento nucleare*", barriere legate soprattutto ai lunghi tempi di costruzione di un nuovo impianto (ridotti ormai però a circa 5 anni), ai costi della sicurezza e della dimostrazione della sicurezza stessa, alla gestione dei rifiuti radioattivi a lunga vita e soprattutto all'accettabilità sociale di un impianto nucleare (problema quest'ultimo comunque comune a tutte le grandi opere).

Ma che cosa è il "*rinascimento nucleare*"? Questo termine è divenuto ormai di largo impiego, senza una definizione univocamente accettata, esplicita e quantitativa. La definizione che sarà utilizzata nel presente contributo è quella di uno "*spostamento significativo del mercato elettrico verso la realizzazione di nuove e più economiche centrali elettro-nucleari rispetto alla realizzazione di centrali a combustibile fossile*". Nel fotografare questo rinascimento è fondamentale capire il

perchè di questo cambiamento e ampliamento nel mercato nucleare (e come questi due fenomeni siano legati all'aumento del costo dei combustibili fossili, all'adozione di una tassa sulle emissioni di gas clima-alteranti e ad un'effettiva riduzione del costo dei nuovi impianti) ma soprattutto le ragioni della ripresa della costruzione di nuovi impianti elettro-nucleari rispetto a precedenti scenari storici di parziale stagnazione, almeno in Europa (con l'esclusione però di alcune realtà significative) e nel Nord America.

2. Il problema energetico e lo sviluppo del mercato dell'energia nucleare

Il legame rinascimento nucleare/globalizzazione è comunque solo una piccola parte delle complesse problematiche legate all'approvvigionamento energetico mondiale ed ai suoi molteplici legami con il fenomeno "globalizzazione". Un altro aspetto che deve essere sicuramente considerato in queste analisi è come questa globalizzazione dell'economia stia ancor di più accentuando le disparità regionali fra le varie aree del mondo, anche in campo energetico.

"Benché sia vero che la crescita della globalizzazione porta con sé delle conseguenze positive come l'aumento dell'efficienza e l'incremento della produzione, .., tuttavia, essendo retta dalle leggi di mercato applicate secondo i vantaggi dei potenti, ha anche altre conseguenze estremamente negative: ..., la disoccupazione, la diminuzione e il deterioramento di alcuni servizi pubblici, la distruzione dell'ambiente naturale, la crescita del divario tra ricchi e poveri, un'ingiusta competizione che colloca le nazioni povere sempre più in basso" (Card. D. Tettamanzi, intervista a La Repubblica del 23 giugno 2001).

Anche per affrontare il problema energetico nel suo complesso sarebbe necessario un diverso modello di globalizzazione, poiché i meccanismi spesso selvaggi del mercato hanno mostrato i loro limiti. Negli ultimi 2000 anni il fabbisogno di energia globale è aumentato di ben 70 volte (da 0.15ba 10.3 Gtep/anno – dove per tep si intende l'energia corrispondente alla combustione di una tonnellata di petrolio; convenzionalmente 1 tep equivale a 10 milioni di kcal), la popolazione mondiale di 20 volte (da circa 300 milioni a 6,2 miliardi) e il consumo pro-capite è quindi triplicato

(da 0.5 a 1,7 tep/anno). Ma questa media globale è poco indicativa e nasconde nella realtà un forte squilibrio nei consumi pro-capite delle diverse aree del pianeta (Figura 1). Per leggere ancora meglio le cifre di questa figura si tenga presente come 0.11 tep/anno siano la pura sopravvivenza, 0.5 tep/anno il consumo pro-capite nell'epoca greco-romana, 1.0 tep/anno il consumo in Italia nel 1939 contro i 3.5 tep/anno nel 2000.

INSERIRE FIGURA 1

Inoltre, per comprendere ancora meglio l'attuale scenario energetico mondiale, basta visualizzare (Figura 2) la portata dell'aumento dei fabbisogni energetici degli ultimi 30 anni (circa un raddoppio!) ed attraverso quali fonti questi fabbisogni siano stati soddisfatti, considerando due date simbolo: 6 Ottobre 1973 (guerra del Kippur) e 11 Settembre 2001 (attentato alle Torri Gemelle). Dalla Figura 2 si evidenzia anche il mutamento nelle fonti energetiche che hanno soddisfatto questi fabbisogni, con l'aumento sia del contributo del gas naturale (+5%) e del nucleare (+6%), e come invece sia diminuito percentualmente l'impiego del carbone (-1.5%) e soprattutto del petrolio (-10.1%).

INSERIRE FIGURA 2

Sebbene il contributo dell'energia nucleare al fabbisogno mondiale quindi non sia mai stato in discussione, perchè si torna nuovamente a parlare con sempre maggior interesse di questa tematica? Una risposta deriva dall'analisi storica dell'affermarsi di questa tecnologia per la produzione di energia elettrica, riportata nella Figura 3, sia in termini di capacità totale installata che in numero di impianti in costruzione nel mondo.

INSERIRE FIGURA 3

Dopo una rapidissima crescita iniziale (~700%) del numero di impianti negli anni '70, soprattutto a seguito della crisi petrolifera legata alla guerra del Kippur, nel 1979 è avvenuto negli Stati Uniti l'incidente di TMI-2 che ha portato al blocco degli ordini soprattutto in questo paese, fino ad allora leader nell'impiego di tale fonte. Ma negli anni '80 - ben dopo l'ultimo ordine negli Stati Uniti ma in parallelo alla guerra fra Iran e Iraq - si ha ancora una forte crescita percentuale del nucleare a livello mondiale (~160%), dovuta al completamento degli ordini già avviati e all'aumento della capacità degli impianti esistenti. Questa fase è seguita da una crescita modesta ma costante negli anni '90 (nonostante l'onda emotiva legata all'incidente di Chernobyl nel 1986) per la realizzazione di impianti elettro-nucleari solo fuori degli Stati Uniti ed ancora all'aumento della capacità produttiva degli impianti già esistenti ed infine si assiste ad una nuova ripresa nel trend costruttivo negli ultimi 5 anni (indubbiamente legata anche alle fortissime crescita del prezzo del petrolio a seguito della crisi irachena, ma anche all'affermarsi di un mercato energetico globale e alla comparsa sulla scena mondiale di paesi divoratori di energia come la Repubblica Popolare Cinese e l'India). Al Luglio 2006 i 27 impianti in costruzione nel mondo sono ripartiti per area geografica come riportato nella Figura 4.

INSERIRE FIGURA 4

Questa breve analisi dello sviluppo storico dell'energia nucleare per uso pacifico ci permette di trarre alcune lezioni importanti ai fini della comprensione della portata dell'attuale rinascita nucleare. In primo luogo è possibile, dal punto di vista delle capacità industriali, tornare ad un tasso di accrescimento assoluto simile a quello degli anni '70, quando centinaia di impianti nucleari erano in costruzione nel mondo, ma sarà impossibile tornare al tasso di accrescimento relativo del 700% considerando l'attuale flotta di circa 440 impianti esistenti al mondo. In secondo luogo, vi è un'inerzia significativa nell'industria nucleare dovuta soprattutto alla lunghezza dei tempi di costruzione dei nuovi impianti: anche se una rinascita nucleare fosse completamente realizzata,

questa non potrà avvenire in breve tempo. In terzo luogo, persino un ritorno al tasso di accrescimento assoluto degli anni '70 (non a quello relativo del 700% ...), comporterebbe un incremento significativo del livello corrente nel commercio internazionale di tecnologia nucleare. Su quali saranno invece i futuri scenari energetici esistono previsioni di ogni tipo, legate ai diversi modelli di sviluppo economico ipotizzabili e alla crescita demografica mondiale, i quali comunque praticamente concordano nel mantenere un ruolo importante all'utilizzo dell'energia nucleare ed un affermarsi delle energie rinnovabili, con un probabile avvio anche dell'uso dell'idrogeno.

Un'analisi approfondita di questi scenari esulerebbe però dallo scopo di questo contributo. Più semplicemente possiamo porci la domanda di quali saranno le tecnologie energetiche che nei prossimi decenni potranno soddisfare la crescita della domanda elettrica. Per rispondere a questa domanda è già possibile individuare quali sono le forze che ne influenzeranno le scelte energetiche:

- ✓ la globalizzazione del mercato, con l'affermarsi di nuovi ed enormi mercati con un conseguente fortissimo aumento della richiesta energetica;
- ✓ la richiesta sempre più forte di nuovi modelli di sviluppo basati sull'ecosostenibilità (attualmente possibili solo nei paesi industrializzati) - l'altra parte del mondo sta oggi percorrendo le stesse vie già percorse dalle aree industrializzate del pianeta, con enormi carichi inquinanti, e non è disponibile ad utilizzare tecnologie innovative ed ecosostenibili se prima queste non saranno provate con successo nei paesi industrializzati. Al contrario, solo tecnologie provate e economicamente competitive potranno affermarsi in paesi con carenze d'infrastrutture e di capitali finanziari;
- ✓ l'innovazione tecnologica, con un contemporaneo forte sviluppo delle energie rinnovabili (vento, sole, biomasse – anche se quest'ultime in competizione con il terreno agricolo per il bisogno primario della sopravvivenza), ed un molto probabile “Rinascimento Nucleare” con impianti di nuova concezione (ma ordinati “chiavi in mano” a poche industrie globali a differenza di ciò che era avvenuto nelle prime due decadi di sviluppo dell'industria nucleare) seguito infine dal passaggio all'uso del vettore energetico idrogeno. Le scarse risorse finanziarie

sono però un ostacolo allo sviluppo e all'interiorizzazione della tecnologia nucleare da parte dei paesi in via di sviluppo: esercire in "leasing industriale" le nuove centrali elettro-nucleari ed il relativo ciclo del combustibile potrebbe forse consentire un accesso alla risorsa nucleare a un numero molto più elevato di nazioni e portare quindi ad una vera globalizzazione del mercato.

3. Globalizzazione e Rinascimento Nucleare

Come già descritto, la globalizzazione ha già avuto per l'energia nucleare un enorme impatto di ristrutturazione e di concentrazione internazionale delle capacità, sia per quanto riguarda gli elettroproduttori che i venditori di tecnologia nucleare, con una forte espansione del volume degli scambi internazionali di tecnologia nucleare principalmente fra Stati Uniti, Canada, Europa, Russia, Giappone, Taiwan e Corea del Sud ma anche verso nuovi paesi a forte crescita economica (come la Repubblica Popolare Cinese, l'India e l'Iran). E' quindi facilmente prevedibile un ulteriore rafforzamento della globalizzazione dell'industria nucleare, con l'emergere di pochissimi progetti di riferimento (chiamati di Generazione III o superiore). La riduzione dei costi necessaria per l'affermazione commerciale di questi nuovi progetti viene e verrà, infatti, sempre più facilmente raggiunta da industrie non più basate su un mercato tipicamente nazionale (Stati Uniti, Canada, Francia, Gran Bretagna come nei precedenti progetti di Generazione I) o continentale (Nord America, Europa, Asia per gli impianti di Generazione II). Vi è quindi una nuova attenzione verso un mercato geograficamente mondiale ed alcuni dei progetti più interessanti dei reattori di nuova generazione, sviluppati da Consorzi Internazionali, saranno commercializzati su scala mondiale da pochissime grandi industrie "globalizzate".

Vediamo ora un'analisi più dettagliata dei 3 aspetti fondamentali del legame fra globalizzazione e rinascimento nucleare:

1. globalizzazione come integrazione del mercato;
2. globalizzazione dell'industria nucleare;

3. emergere sulla scena mondiale di reattori nucleari di nuova generazione, destinati ad un mercato “globale”.

3.1 Globalizzazione come integrazione del mercato

Per integrazione del mercato si intende una mancanza di sistematiche differenziazioni del prodotto nei diversi mercati geografici. Mentre alcuni aspetti della tecnologia nucleare (in particolare l’arricchimento dell’uranio) sono da sempre connotati da un mercato su scala mondiale, i diversi progetti di reattore sono stati sostanzialmente diversificati, durante le prime due decadi di sviluppo e affermazione dell’industria nucleare, sulla base di un mercato geograficamente ristretto.

Nell’attuale scenario stanno invece emergendo ed affermandosi alcuni progetti di riferimento (in particolare l’AP-1000 e l’ABWR statunitensi/nipponici e l’EPR franco/tedesco, sviluppati rispettivamente da Westinghouse Electric Company, General Electric/Toshiba e AREVA) potenzialmente competitivi su di una base mondiale ma destinati solo a paesi a forte economia per la loro grossa “taglia”, ben superiore ai 1000 MWe. Lo sviluppo e le procedure autorizzative di questi progetti hanno richiesto e continuano a richiedere investimenti notevolissimi e ciò è stato un forte incentivo nella loro commercializzazione su scala globale.

Un’ulteriormente migliorata economia, fondamentale per il consolidarsi sia del rinascimento nucleare che della piena integrazione del mercato della tecnologia nucleare, è però legata alla comparsa di nuovi impianti, definiti di “Generazione III+” e al progetto internazionale “Generation IV” (lanciato inizialmente da Stati Uniti, Giappone, Gran Bretagna e Francia cui si sono poi aggiunte Unione Europea, Argentina, Brasile, Canada, Corea del Sud, Sud Africa e Svizzera) discusso nel seguito del contributo.

3.2 Globalizzazione dell’industria nucleare

Un’efficace riduzione dei costi è stato un prerequisito per la sopravvivenza delle industrie produttrici di tecnologia nucleare in un mercato ristretto come numero di possibili acquirenti ma già globale ed è stata la principale ragione per le grandi acquisizioni ed i consolidamenti che hanno caratterizzato l’industria nucleare nell’ultimo decennio.

Un mercato numericamente in forte espansione come l'attuale mercato energetico mondiale non rimuoverà certamente la necessità di un'ulteriore riduzione del costo del kWh elettro-nucleare; infatti solamente un chiaro (includendo quindi nelle valutazioni economiche anche le cosiddette “esternalità ambientali”, cioè tutti i costi per l'ambiente, lungo tutta la catena produttiva che sono stati finora trascurati) e netto vantaggio economico rispetto alle altre fonti di energia (in particolare carbone e gas naturale) potrà ulteriormente trainare la crescita del mercato nucleare e le grandi industrie “globalizzate” rendono già possibile questa ulteriore e necessaria riduzione dei costi, in particolare attraverso la riduzione del costo dell'impianto stesso e dei tempi di realizzazione. Attualmente però solo pochissime industrie sono presenti sul mercato globale, con il rischio di emergere di posizioni praticamente monopolistiche come quella in Europa del gruppo AREVA.

3.3 Evoluzione delle diverse tipologie di Impianti Nucleari

Per comprendere quante industrie “globali” saranno le protagoniste della rinascita nucleare, è preliminarmente necessaria un'analisi relativa alle tipologie di impianto elettro-nucleare attualmente disponibili o in fase di progetto. La Figura 5 presenta uno schema che descrive lo sviluppo storico delle diverse tipologie di impianto fra il 1950 ed il 2030, dove le 5 “Generazioni” successive rappresentano la classificazione definita dal Dipartimento per l'Energia (DOE) statunitense. Dopo la prima Generazione, destinata prevalentemente ad un mercato interno (inizialmente solo negli Stati Uniti ed in alcuni stati europei) si è passati con la Generazione II all'affermazione commerciale della tecnologia nucleare su una scala di tipo “continentale” (in Europa, America del Nord ed Asia) fino ad arrivare agli attuali impianti di Generazione III, destinati per e realizzati in tutti i paesi industrializzati o a forte economia. Solo i futuri impianti di Generazione III+ e IV possono però essere pensati come veramente destinati ad un mercato “globale”. Per comprendere il perché di queste ultime due affermazioni è necessario analizzare più in dettaglio alcuni aspetti strettamente tecnologici.

INSERIRE FIGURA 5

Come già detto, l'attuale stato dell'arte nella tecnologia nucleare è rappresentato dagli impianti di Generazione III; di questa generazione sono stati realizzati o sono in fase di avanzata realizzazione sei ABWR in Giappone e Taiwan (di cui tre già connessi alla rete a partire dal 1996 e tre in fase di realizzazione) ed una centrale EPR in Finlandia (più l'EPR già autorizzato in Francia) ed è stato certificato dall'ente di controllo statunitense il progetto standard dell'AP-1000 (tutti questi impianti sono pronti per la gara cinese relativa alla realizzazione di 20 unità...) oltre ad alcuni progetti ancora in uno stadio di sviluppo meno avanzato come l'Advanced CANDU Reactor ACR-1000 in Canada. Questi impianti di Generazione III incorporano alcune nuove caratteristiche di sicurezza e di resistenza anche ad incidenti con danneggiamento del combustibile nucleare. I loro costi d'investimento specifico, detti anche EPCOC - Engineering Procurement and Construction Overnight Costs (sono i costi che si dovrebbero esporre se l'intero progetto potesse essere realizzato in un singolo giorno, ossia non tenendo conto dei costi associati ai tempi di realizzazione dell'impianto come interessi e inflazione) sono stimati fra i 1200 e 1500 €/kWe in funzione della tipologia di reattore oltre che dal paese e dal sito prescelto (circa 1500 €/kWe per l'EPR ed un valore tra i 1200 e 1500 €/kWe per l'ABWR e l'AP-1000). Per essere sicuramente competitivi nell'odierno mercato libero dell'energia elettrica, una centrale dovrebbe però avere dei costi d'investimento più vicini ai 1000 €/kWe. Quindi le nuove centrali nucleari di Generazione III possono fornire un contributo rilevante in mercati in cui non siano disponibili risorse energetiche per la produzione di elettricità globalmente competitive e sia necessario adempiere agli impegni del trattato di Kyoto, risultando pertanto adatte a paesi con una forte economia che necessitino di grandi quantità di energia. I principali vantaggi di delle attuali tipologie di impianto possono essere riassunti nei due punti seguenti:

- a) mancanza di emissioni di gas ad effetto serra;
- b) costo del kWh decisamente competitivo in determinate situazioni di mercato nonostante l'alto costo capitale come nel caso della realizzazione in Finlandia dell'impianto EPR (costo di

produzione stimato 24 €/MWh contro i 43 €/MWh del carbone, 38 €/MWh di un ciclo combinato e 50 €/MWh dell'eolico – fonte University of Technology Lappeenranta, 2003), costi sostanzialmente confermati anche per una realtà economica come quella italiana da un recentissimo studio del Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI).

Gli svantaggi maggiori sono individuabili (vedi anche il contributo di Alessandro Franco pubblicato in questo volume) nei seguenti punti:

- a) limitato sfruttamento della risorsa uranio, legato all'utilizzo principalmente della fissione dell'isotopo U-235 e solo parzialmente di quella del ben più abbondante U-238 (con una “non sostenibilità” dello sviluppo, compromettendo infatti la possibilità delle future generazioni di perdurare nello sviluppo stesso per la mancata preservazione della qualità e la quantità delle risorse naturali). Il problema è in parte compensato dall'utilizzo di combustibili MOX (vedi Appendice), dall'utilizzo di materiale fissile proveniente dallo smantellamento degli arsenali nucleari, che ha coperto circa il 40% dei consumi nel 2004 (fonte OECD “Red Book”), ed infine da una distribuzione grossolanamente uniforme dell'uranio sul pianeta, con concentrazione della produzione anche in stati diversi da quelli tradizionali delle fonti fossili (vedi tabella 1), che favorisce una stabilità “politica” delle forniture;
- b) grande taglia, superiore a 1000 MWe, che rende la competitività economica ancora variabile da Paese a Paese, e l'elevata quantità di acqua di raffreddamento necessaria, anche se paragonabile a quella richieste da una centrali termoelettrica a carbone od olio combustibile di pari taglia;
- c) difficile accettabilità sociale, anche questa fortemente variabile da Paese a Paese e del tipo NIMBY (not in my back yard), legata soprattutto al timore di rilasci radioattivi ed alla gestione delle scorie (con questo termine si indica il combustibile esaurito – *spent fuel* - originatosi all'interno del reattore nel corso dell'esercizio; esse rappresentano una piccola parte, circa il 3%, dei rifiuti radioattivi ma contengono il 95% della radioattività, vedi Appendice).

Vi sono però nuove tipologie emergenti (Generazione III+) più economiche rispetto alla precedente Generazione III e, insieme alla futura Generazione IV, proiettate ad ottenere un costo di impianto

molto più vicino ai \$1000 per kWe. Il pieno sviluppo globale dell'industria nucleare dipenderà quindi in larga misura da quanto velocemente queste nuove Generazioni saranno realizzate e dalla misura in cui i loro costi reali rifletteranno queste valutazioni iniziali. Un evento incidentale severo, con danneggiamento del nocciolo nucleare, diverrà non credibile essendo la loro progettazione basata proprio sulla sicurezza intrinseca, con l'eliminazione di questa tipologia di incidenti severi; ciò permetterà di eliminare la necessità di predisporre piani di emergenza esterni e di evacuazione della popolazione. Il sistema di contenimento (e anche la loro ubicazione principalmente sotterranea) servirà essenzialmente a proteggere il reattore da eventi esterni, incluse azioni di terrorismo, oltre che rappresentare l'ultima barriera al rilascio incidentale di sostanze radioattive come negli attuali impianti.

Entrambe queste nuove Generazioni sono caratterizzate da forti iniziative internazionali di ricerca e sviluppo (come il Progetto IRIS, sviluppato da un consorzio guidato dalla Westinghouse Electric Company), con forti differenziazioni tecnologiche fra i vari progetti. I principali obiettivi sono relativi ad una maggiore "sostenibilità" della scelta nucleare, attraverso un effettivo utilizzo della risorsa uranio (con il previsto utilizzo di cicli del combustibile ad alta efficienza nello sfruttamento delle materie prime) o l'utilizzo del torio (circa 4 volte più abbondante dell'uranio), alla gestione delle scorie ed alla resistenza alla proliferazione degli armamenti. Questi tre obiettivi fondamentali, insieme alla riduzione dei costi insita nella tipologia di tutti i nuovi progetti (impianti di taglia medio – piccola, modulari e con tempi di costruzione inferiori ai 3 anni), porteranno ad una possibilità di commercializzazione più ampia anche in paesi ad economia in fase di sviluppo. Inoltre gli impieghi previsti per queste Generazioni III+ e IV non sono solamente la produzione di elettricità e di calore ad alta temperatura ma anche la desalinizzazione dell'acqua marina e la produzione di idrogeno, al fine di aumentare ulteriormente la diffusione geografica della loro commercializzazione.

Il problema più gravoso rimane tuttavia ancora la gestione dei rifiuti radioattivi e soprattutto delle scorie a più alta attività. A questo riguardo deve essere però ribaltata l'ottica sotto cui vedere nel

prossimo futuro queste scorie, non più un “rifiuto” da segregare per tempi lunghissimi ma piuttosto una possibile risorsa energetica, soprattutto per il contenuto in plutonio e uranio, che è possibile utilizzare già da ora con tecnologie avanzate. Il problema della sistemazione definitiva dei rifiuti e soprattutto delle scorie non è solamente di natura tecnologica (vedi Appendice) ma essenzialmente di scelta politica in quanto le attuali conoscenze tecnologiche già permetterebbero lo studio di soluzioni potenzialmente adeguate.

4. Considerazioni conclusive

L'industria nucleare – attraverso la sua globalizzazione e soprattutto l'affermazione sui mercati asiatici - ha superato un lungo periodo di stagnazione negli Stati Uniti ed in Europa, conservando le capacità di sviluppare nuove tipologie di reattore e risolvere i problemi relativi al ciclo del combustibile, rendendo nuovamente effettiva l'opzione nucleare. Paesi come Cina ed India, con alto incremento demografico ed elevato sviluppo economico ma con scarsa disponibilità di fonti energetiche, sono oggi fortemente interessati alla scelta nucleare.

I nuovi progetti e le soluzioni in fase di sviluppo, che tengono conto dei progressi acquisiti dall'attuale tecnologia nucleare e dell'esperienza operativa del parco reattore esistente (al Luglio 2006 vi sono 442 impianti commerciali in 31 paesi, per una capacità totale di oltre 369.000 MWe), sono destinati ad un mercato globale, assicurando contemporaneamente un più alto livello di sicurezza e un costo del kWh inferiore all'attuale. Inoltre, l'affermazione di questi nuovi progetti permetterà una maggiore resistenza alla proliferazione degli armamenti, attraverso il riutilizzo del plutonio ed i previsti lunghissimi periodi di bruciamento, e forse una maggiore accettabilità sociale di questa tecnologia.

Il pieno Rinascimento Nucleare dipenderà comunque dalle politiche di cooperazione economica e di trasferimento tecnologico che i paesi industrializzati riusciranno ad attuare e da come l'industria nucleare riuscirà a rispondere sempre più velocemente alle complesse esigenze di un mercato globale dell'energia, dove le fonti per la produzione di energia elettrica nei prossimi 20/30 anni

saranno molto probabilmente le stesse disponibili già oggi in quanto l'impiego pratico della fusione nucleare è purtroppo ancora molto lontano. L'energia nucleare potrebbe inoltre dare un contributo fondamentale alla riduzione delle emissioni clima alteranti. Ciò contribuirà alla economicità del kWh nucleare in confronto alle altre fonti energetiche, confronto effettivo basato sul superamento della tendenza a considerare nel costo delle altre fonti di energia solo i costi diretti della produzione, non inglobando nei meccanismi di mercato i costi ambientali dell'intero ciclo produttivo.

Riferimenti bibliografici

La scelta adottata relativamente alla bibliografia del presente contributo è stata quella di non utilizzare fonti cartacee di non facile reperibilità ma di limitarsi invece ad un'esposizione di fatti e cifre liberamente disponibili sulla rete web. A questo riguardo si allega una lista (anche se molto parziale) di alcuni siti web di Enti od Organizzazioni internazionali per permettere una facile reperibilità di informazioni "ufficiali" sull'utilizzo dell'energia nucleare per scopi pacifici e, più in generale, sulle problematiche dell'uso dell'energia:

International Atomic Energy Agency (IAEA)	http://www.iaea.org/
International Energy Agency (IEA)	http://www.iea.org/
OECD Nuclear Energy Agency (NEA)	http://www.nea.fr/
US Nuclear Regulatory Commission (NRC)	http://www.nrc.gov/
AREVA-NP ed il progetto EPR	http://www.areva-np.com/
Progetto ADS	http://www.enea.it/com/ADS/
Generation IV International Forum	http://gen-iv.ne.doe.gov/
Per chiarire invece rapidamente qualche dubbio su una parola sconosciuta o su un particolare concetto tecnico niente di meglio che una visita (anche solo come punto di partenza per una successiva "navigazione" più approfondita) al sito di <i>Wikipedia</i> (si consigliano le versioni in lingua inglese, da cui proviene la traduzione nel sito in lingua italiana di molte voci tecniche, ed in lingua francese per gli aspetti legati all'EPR)	http://wikipedia.org/

o all'ottimo ed aggiornato sito divulgativo "*The Virtual Nuclear Tourist! Nuclear Power Plants Around the World*" <http://www.nucleartourist.com/>

Un sito non "ufficiale" ma "schierato", ottima fonte di informazioni tecniche, è quello della World Nuclear Association (WNA) <http://www.world-nuclear.org/index.html>

e in particolare il suo portale nucleare <http://www.world-nuclear.org/portal/index.htm>

Per chiudere questa serie di riferimenti bibliografici, alcuni siti web appartenenti ad Organizzazioni internazionali contrarie all'utilizzo dell'energia nucleare, siti che possono essere utilizzati per un eventuale confronto critico delle diverse posizioni:

Greenpeace <http://www.greenpeace.org/>

WISE World Information Service on Energy <http://www10.antenna.nl/wise/>

NIRS Nuclear Information and Resource Service <http://www.nirs.org/>

Appendice: Vi sono soluzioni possibili per i rifiuti nucleari?

La breve esposizione che segue, puramente informativa, prescinde dal perché delle scelte strategiche, economiche ma soprattutto politiche effettuate nei diversi Paesi relativamente alla "chiusura" del ciclo del combustibile nucleare. Un esempio di queste scelte è la decisione statunitense, sotto la presidenza Carter, relativa al non riprocessamento del combustibile nucleare "esaurito", cioè estratto da una centrale al termine del suo utilizzo.

Partiamo da alcune cifre che danno un'idea quantitativamente corretta di questi rifiuti radioattivi: una centrale nucleare da 1000 MWe produce in un anno una quantità limitata di rifiuti radioattivi (circa 500, 200 e 30 tonnellate rispettivamente a bassa, media ed alta attività, questi ultimi spesso chiamati "scorie" e formati dal combustibile esaurito, corrispondenti a circa 200, 100 e 4 metri cubi dopo l'eventuale riprocessamento) contro le circa 200.000 tonnellate di ceneri di un impianto equivalente a carbone, contenenti centinaia di tonnellate di metalli pesanti altamente tossici.

I rifiuti a bassa e media attività sono odiernamente trattati con tecnologie ampiamente provate (compattazione, cementificazione, vetrificazione) e successivamente conservati per circa 300 anni

in opportuni depositi, già realizzati nei principali paesi industrializzati, di cui 4 in Europa (Le Hague in Francia, Sellafield in Gran Bretagna, Oskarshamn in Svezia e Olkiluoto in Finlandia). Il problema dello smaltimento delle scorie (formate mediamente da U-238 per il 94%, 1% di U-235, 1% di plutonio - che rappresenta il contributo maggiore alla radiotossicità, 0.1% di attinidi minori - Np, Am, Cm - e 4% di prodotti di fissione - di cui la grande maggioranza stabili) ha invece portato all'adozione di due soluzioni tecniche diverse:

- a) gli Stati Uniti hanno deciso per lo stoccaggio diretto del combustibile esaurito per decine di migliaia di anni (un tempo comunque piccolo rispetto ai tempi geologici caratteristici di milioni di anni) nel deposito in fase di realizzazione nel sito di Yucca Mountain – circa 160 km a nord-ovest di Las Vegas - senza operazioni preliminari di ritrattamento.
- b) Francia, Gran Bretagna, Giappone ed altri paesi hanno invece optato per riciclare il plutonio, ottenuto dal ritrattamento del combustibile esaurito (le due industrie leader a livello mondiale delle operazioni di ritrattamento sono BNFL e AREVA), attraverso il suo riutilizzo in combustibili ad ossidi misti U-Pu (MOX), aumentando la resa di produzione e diminuendo drasticamente il volume di scorie destinate all'immagazzinamento geologico con la contemporanea separazione anche dell'uranio e di altri radioisotopi come il Cs-137 e lo Sr-90, questi ultimi destinati ad applicazioni mediche o industriali.

L'attuale tecnologia permetterebbe già ora di ottenere una parziale trasmutazione anche delle rimanenti scorie ad alta attività (soprattutto gli attinidi minori) in rifiuti a media attività, attraverso il loro bruciamento in reattori a neutroni veloci, e nuove e più efficienti soluzioni sono in fase di studio (in particolare i reattori veloci di IV Generazione e l'ADS Accelerator Driven System – chiamato anche Rubbiatrone, dal nome del Nobel Carlo Rubbia, inserito nel progetto internazionale TRASCO TRAsmutazione SCOrie). La soluzione ipotizzabile in futuro sarà quindi quella di “bruciare” nei nuovi reattori quegli elementi a vita troppo lunga: essi diverrebbero così sostanze chimiche diverse che dovrebbero essere contenute per un periodo di tempo più “accettabile”, non oltre 300 anni, e contemporaneamente riutilizzare l'U-235 ed il plutonio nelle attuali centrali.

	Tonnellate	% nel mondo
Australia	1,143,000	24%
Kazakistan	816,000	17%
Canada	444,000	9%
USA	342,000	7%
Sud Africa	341,000	7%
Namibia	282,000	6%
Brasile	279,000	6%
Niger	225,000	5%
Federaz. Russa	172,000	4%
Uzbekistan	116,000	2%
Ucraina	90,000	2%
Giordania	79,000	2%
India	67,000	1%
Cina	60,000	1%
rimanente	287,000	6%
Totale	4,743,000	

Tabella 1: Risorse di uranio stimate nel mondo
(fonte: OECD, Uranium 2005: Resources, Production and Demand - "Red Book")

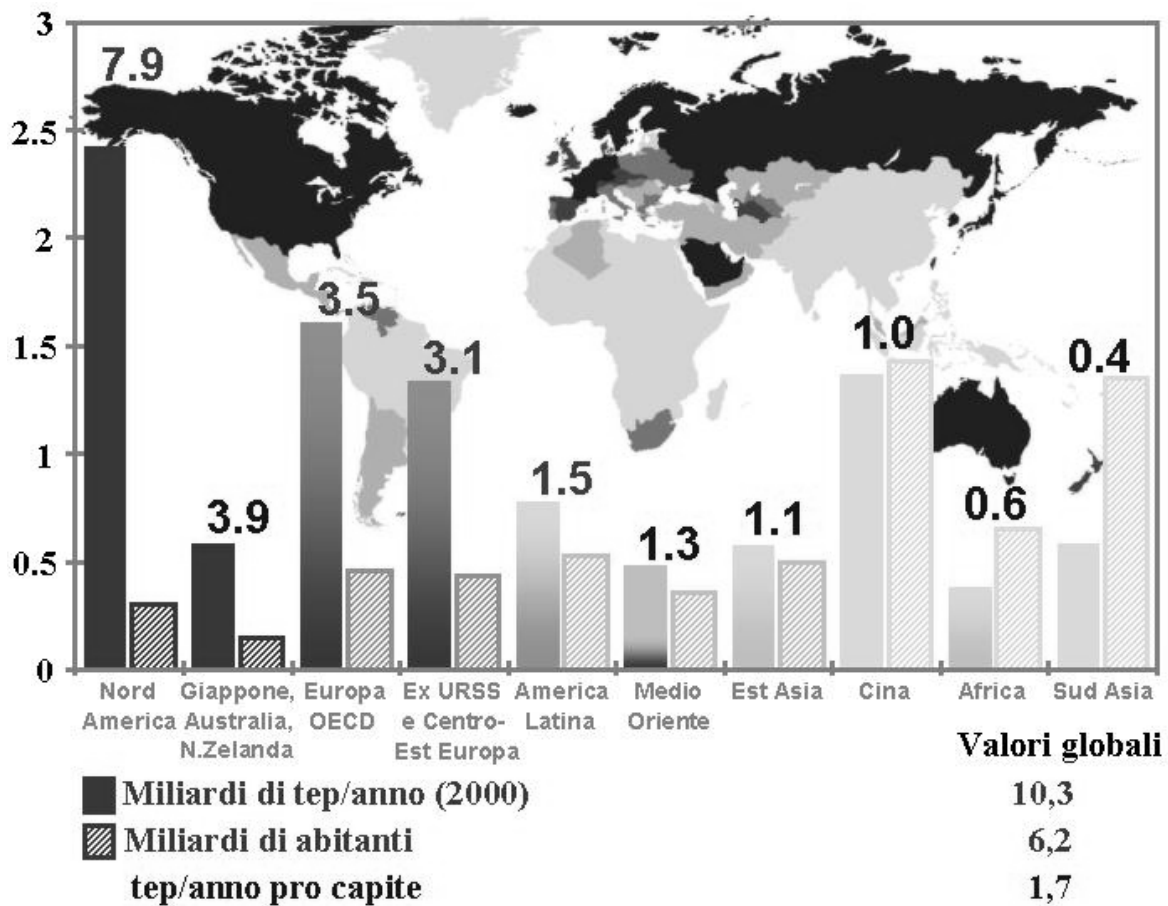


Figura 1: Consumo pro-capite nelle diverse aree del pianeta

(fonte G.P. Beretta, Le Scienze, settembre-ottobre 2003)

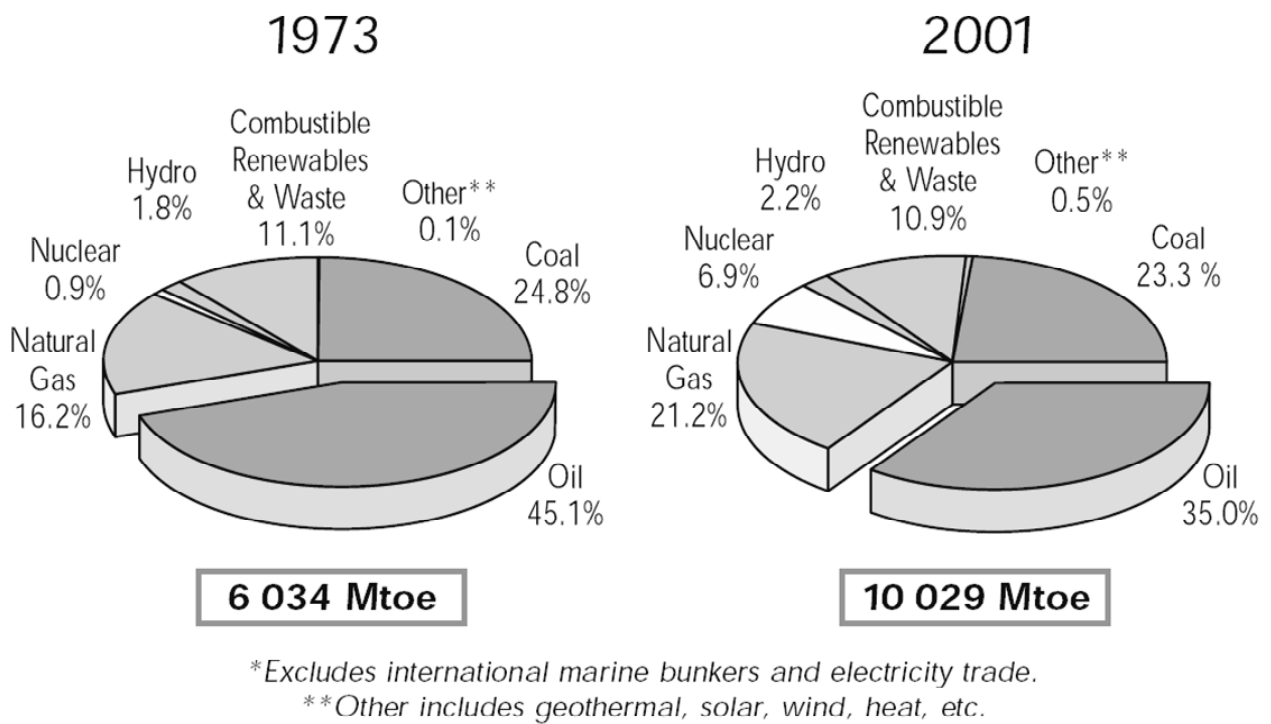


Figura 2: Fabbisogno mondiale di energia

(IEA International Energy Agency, "Key World Energy Statistics", 2003)

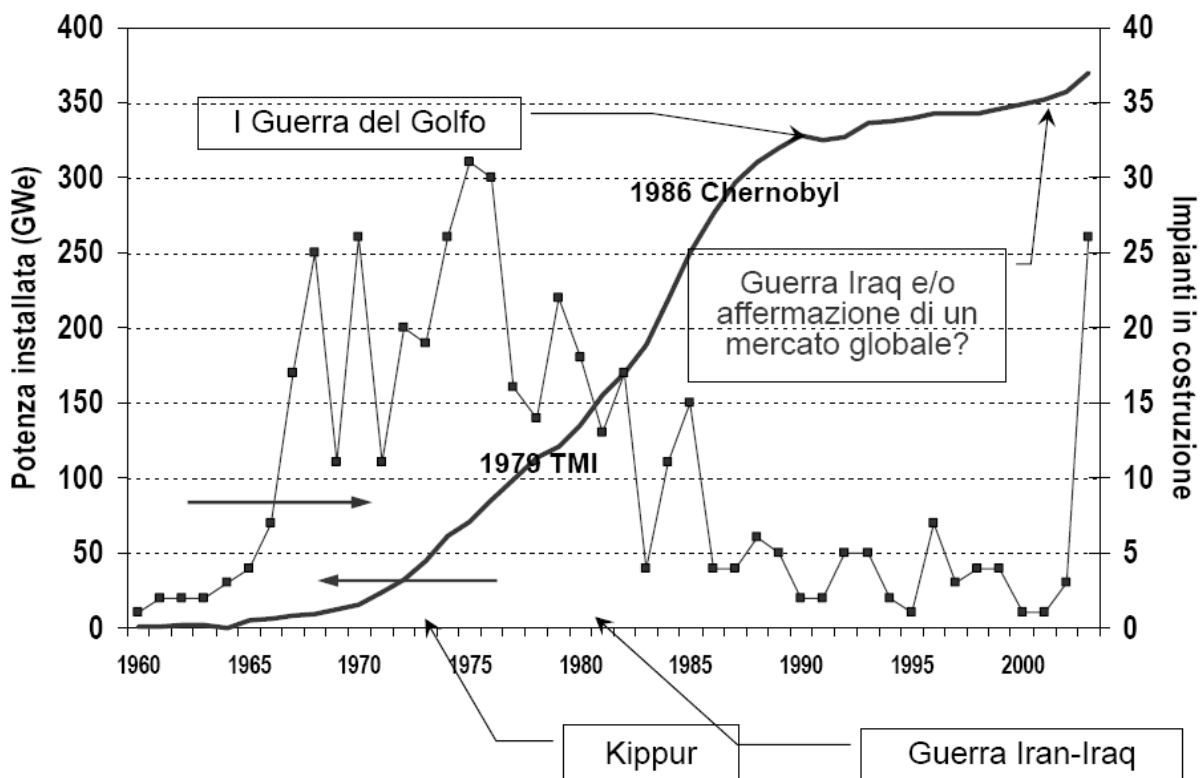


Figura 3: Potenza installata e numero di impianti elettro-nucleari in costruzione nel mondo

(fonte dati: IAEA Power Reactor Information System PRIS)

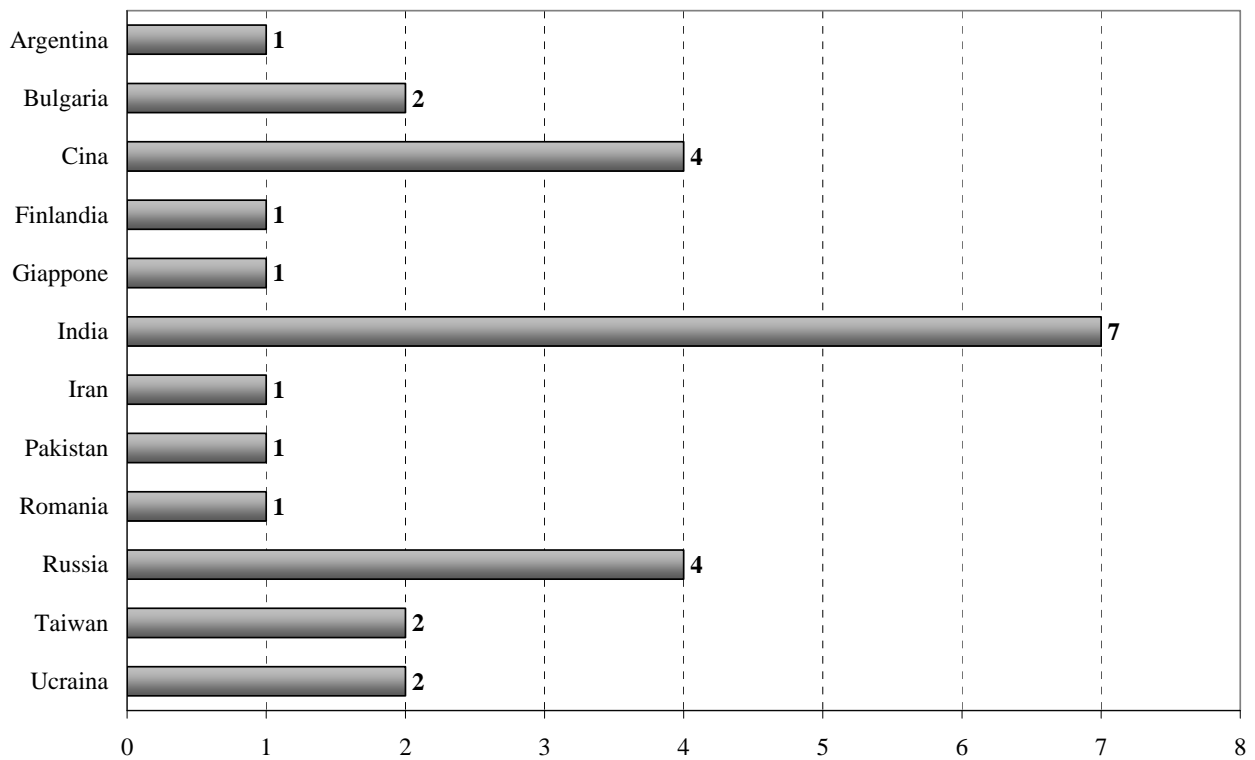


Figura 4: Numero di reattori in costruzione nel mondo al Luglio 2006

(fonte dati: IAEA Power Reactor Information System PRIS)

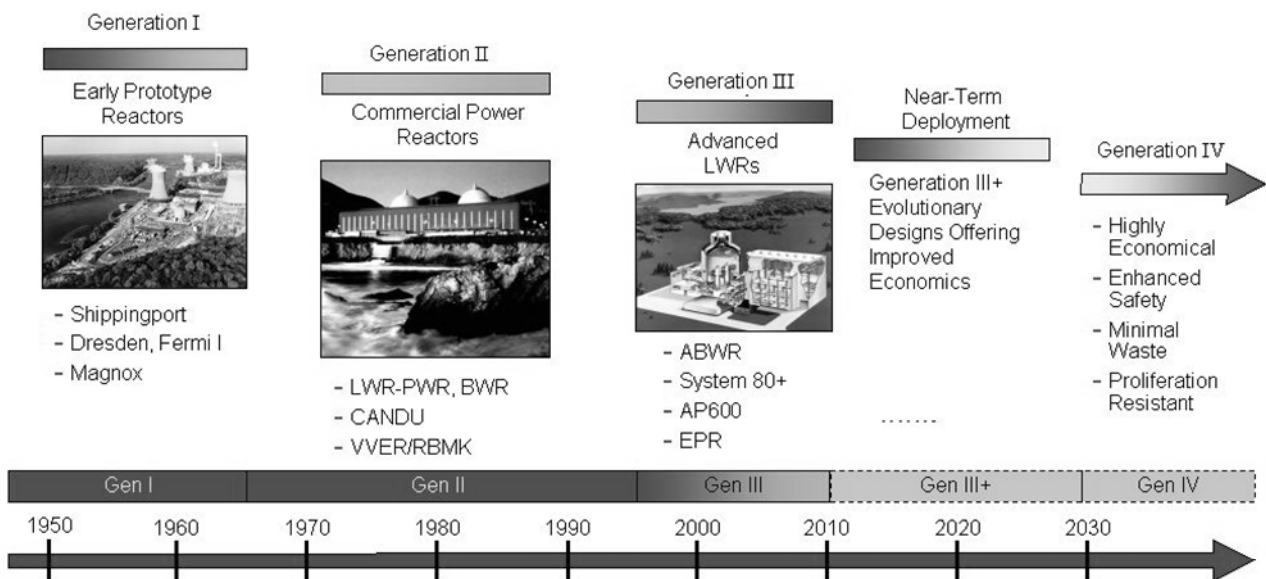


Figura 5: Sviluppo delle diverse tipologie di reattore nucleare fra il 1950 ed il 2030

(fonte: Generation IV International Forum web-site)